



面向21世纪课程教材
高等教育规划教材

化工单元过程及 设备课程设计

第三版

王 瑶 张晓冬 主编
匡国柱 史启才 审定



化学工业出版社

014905701

TQ02-43

24

3

取工分而立安强普好高普教士系科从，林特层新总而强实野工野长元

野数兼干，野总兼... 面向 21 世纪课程教材
高等教育规划教材



化工单元过程及设备 课程设计

第三版


王 瑶 张晓冬 主编
匡国柱 史启才 审定



出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南路13号 邮政编码100011）

印 刷：北京市通县风凰岭中 787mm×1095mm 1/16 印张42.5 字数828千字 2013年9月北京第3版第1次印刷

购书咨询：010-64818888（传真：010-64819886） 售后服务：010-64818899

 化学工业出版社
· 北京 ·

定价：39.00元



北航 C1693211

TQ02-43
24-3

01302701

本教材作为化工单元过程工程实践训练课程教材,从体系上将各高校普遍设立的化工原理课程设计和化工设备机械基础课程设计结合起来,作为一门综合性、基础性的工程训练课。

全书详细介绍了典型化工单元过程的工艺设计、包括精馏过程、吸收过程、干燥过程。同时考虑到在化工过程中,列管式换热器应用的广泛性,本书也较为详细地介绍了列管换热器的工艺设计。在这些章节中,突出强调单元过程工艺设计中方案设计的综合性,而不仅限于某一设备的工艺计算,目的是引导学生用系统工程学的观点全面分析设计过程中涉及的诸多因素对全系统过程的影响,强调系统的综合性和协调性。在单元设备设计方面,考虑到篇幅和工艺类学生的教学基本要求,选取了典型的列管换热器机械设计和塔设备的机械设计作为本课程教学的基本内容。教材中所选择的设计实例多来自于作者的实际工程实践的设计题目,具有真实的工程应用背景。

本书可作为高等学校化工及相关专业的本科生教材,也可供化工及相关专业工程技术人员作为工艺设计的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工单元过程及设备课程设计/王瑶,张晓冬主编.—3版.
北京:化学工业出版社,2013.8
面向21世纪课程教材
高等教育规划教材
ISBN 978-7-122-17798-8

I. ①化… II. ①王…②张… III. ①化工单元操作-
课程设计-高等学校-教材②化工设备-课程设计-高等学
校-教材 IV. ①TQ02②TQ05

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第143399号

责任编辑:何丽
责任校对:宋夏

装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张22¼ 字数578千字 2013年9月北京第3版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:42.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书是在《化工单元过程及设备课程设计》(第二版)的基础上,根据教学实践过程中教师和学生使用该书的意见反馈,在保持教材原有风格的基础上,对部分内容进行了删减或修订。修订工作由大连理工大学化工原理教研室和化机基础教研室组织完成。

修订后的本书包括化工设计技术文件编制,化工生产中常用的传热、精馏、吸收、干燥过程的工艺设计及换热器和塔器的机械设计。本次修订删减了与课程设计相关性不强的内容,使教材更加精炼,并且采用了最新设计标准。本书注重理论联系实际,强调化工生产中典型工艺过程的设计和常用设备的机械设计。大部分设计示例取自于工程实际,且工艺设计与设备设计相互衔接,体现了课程设计的完整性和系统性,有利于培养学生的工程设计能力。

本书可作为高等学校化工类本科化工单元及设备课程设计教材或参考书,亦可供化工设计及生产管理技术人员参考。

参加本书修订的人员及分工如下:

第一章	绪论	匡国柱	王 瑶	
第二章	化工设计技术文件编制	王 瑶	史启才	张晓冬
第三章	列管式换热器工艺设计	匡国柱	王 瑶	
第四章	列管式换热器机械设计	史启才	张晓冬	
第五章	精馏过程工艺设计	樊希山	王 瑶	
第六章	吸收过程工艺设计	匡国柱	王 瑶	
第七章	干燥过程工艺设计	王宝和		
第八章	塔设备的机械设计	张晓冬		

由于编者水平有限,书中不足之处恳请读者提出宝贵意见,在此深表谢意。

编 者

2013年4月 于大连

第一版序

《化工类专业人才培养方案及教学内容体系改革的研究与实践》为教育部（原国家教委）《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》的 03-31 项目，于 1996 年 6 月立项进行。本项目牵头单位为天津大学，主持单位为华东理工大学、浙江大学、北京化工大学，参加单位为大连理工大学、四川大学、华南理工大学。

项目组以邓小平同志提出的“教育要面向现代化，面向世界，面向未来”为指针，认真学习国家关于教育工作的各项方针、政策，在广泛调查研究的基础上，分析了国内外化工高等教育的现状、存在问题和未来发展。四年多来项目组共召开了由 7 校化工学院、系领导亲自参加的 10 次全体会议进行交流，形成了一个化工专业教育改革的总体方案，主要包括：

- 制定《高等教育面向 21 世纪“化学工程与工艺”专业人才培养方案》；
- 组织编写高等教育面向 21 世纪化工专业课与选修课系列教材；
- 建设化工专业实验、设计、实习样板基地；
- 开发与使用现代化教学手段。

《高等教育面向 21 世纪“化学工程与工艺”专业人才培养方案》从转变传统教育思想出发，拓宽专业范围，包括了过去的各类化工专业，以培养学生的素质、知识与能力为目标，重组课程体系，在加强基础理论与实践环节的同时，增加人文社科课和选修课的比例，适当削减专业课分量，并强调采取启发性教学与使用现代化教学手段，因而可以较大幅度地减少授课时数，以增加学生自学与自由探讨的时间，这就有利于逐步树立学生勇于思考与走向创新的精神。项目组所在各校对培养方案进行了初步试行与教学试点，结果表明是可行的，并收到了良好效果。

化学工程与工艺专业教育改革总体方案的另一主要内容是组织编写高等教育面向 21 世纪课程教材。高质量的教材是培养高素质人才的重要基础。项目组要求教材作者以教学改革精神为指导，力求新教材从认识规律出发，阐述本门课程的基本理论与应用及其现代进展，并采用现代化教学手段，做到新体系、厚基础、重实践、易自学、引思考。每门教材采取自由申请及择优选定的原则。项目组拟定了比较严格的项目申请书，包括对本门课程目前国内外教材的评述、拟编写教材的特点、配套的现代化教学手段（例如提供教师在课堂上使用的多媒体教学软件，附于教材的辅助学生自学用的光盘等）、教材编写大纲以及交稿日期。申请书在项目组各校评审，经项目组会议择优选取立项，并适时对样章在各校同行中进行评议。全书编写完成后，经专家审定是否符合高等教育面向 21 世纪课程教材的要求。项目组、教学指导委员会、出版社签署意见后，报教育部审批批准方可正式出版。

项目组按此程序组织编写了一套化学工程与工艺专业高等教育面向 21 世纪课程教材，共计 25 种，将陆续推荐出版，其中包括专业课教材、选修课教材、实验课教材、设计课教材以及计算机仿真实验与仿真实习教材等。本教材就是其中的一种。

按教育部要求，本套教材在内容和体系上体现创新精神、注重拓宽基础、强调能力培养，力求适应高等教育面向 21 世纪人才培养的需要，但由于受到我们目前对教学改革的研

第一版前言

本书根据大连理工大学化工原理及化机基础教研室多年教学实践经验,并结合近几年实际工程技术改造成果,在原化工原理课程设计和化机基础课程设计教材建设的基础上由大连理工大学化工原理教研室及化机基础教研室组织编写。

在该书的编写过程中,编者吸收了近几年的教学改革经验,将原来的化工原理课程设计与化机基础课程设计结合起来,改变了以往化工原理课程设计与化机基础课程设计这两个相关的课程设计紧紧依附于各自的理论课程而相互独立,不能形成有机整体的局面,形成了使化工单元过程的工艺设计与设备设计相互衔接,互相呼应,以突出培养学生工程实践能力为目标的较为系统的化学工程基础设计实践训练课程。

在选材上,本着“加强基础、拓宽专业、培养实践能力”的基本思想,同时体现出课程的优化整合。在处理方法上注重理论与实践的密切结合,注重基本工程能力的培养,注重对学生独立工作能力的培养。全书包括化工设计技术文件编制,化工生产中常用的精馏、吸收、萃取、干燥过程的工艺设计,列管换热器的工艺设计以及列管换热器和塔设备的机械结构设计。

本书的设计示例多来源于教研室实际工程改造的技术实例,这对培养学生的工程观点以及解决实际问题的能力将是十分有益的。本书作为高等学校化工类本科化工单元过程及设备课程设计教材或参考书,亦可供化工工程设计以及生产管理技术人员参考。

参加本书编写的人员及分工如下:

第一章	绪论	匡国柱
第二章	工程技术文件编制	王 瑶 史启才
第三章	列管换热器工艺设计	王世广 匡国柱
第四章	列管换热器机械设计	史启才
第五章	精馏过程工艺设计	樊希山 王 瑶
第六章	吸收过程工艺设计	匡国柱
第七章	液-液萃取过程工艺设计	王 瑶
第八章	干燥过程工艺设计	王宝和
第九章	塔设备的机械设计	张晓冬

本书作为面向 21 世纪教材,由齐鸣斋教授审阅,并提出了许多宝贵意见,在此向齐鸣斋教授表示诚挚的谢意。

在此也向曾为本教材建设做出贡献的郑轩荣、李景鹤二位教授以及其他为本教材做出贡献的老师表示感谢。

由于编者水平有限,书中不足之处恳请读者提出批评意见,在此深表谢意。

编 者
2001 年 9 月

第二版前言

为适应 21 世纪教学内容和课程体系的更新与发展,我们对《化工单元过程及设备课程设计》第一版教材进行了修订。本次修订根据教学实践过程中教师和学生的反馈意见,在保持第一版教材原有风格的基础上,对部分内容进行了删减或修订。修订工作由大连理工大学化工原理教研室及化机基础教研室完成。

本书包括工程技术文件编制,化工生产中常用的精馏、吸收、萃取、干燥过程以及常用换热器的工艺设计,同时考虑到课程设计的综合性,本书也包括了列管换热器以及塔设备的机械结构设计。本书注重理论联系实际,引用了部分实际工程改造的技术实例,以培养学生的工程观点以及解决实际问题的能力。本书作为高等学校化工类本科化工单元过程及设备课程设计教材或参考书,亦可供化工工程设计以及生产管理技术人员参考。

参加本书修订的人员及分工如下:

第一章	绪论	匡国柱	樊希山
第二章	工程技术文件编制	王瑶	史启才
第三章	列管换热器工艺设计	匡国柱	
第四章	列管换热器机械设计	史启才	
第五章	精馏过程工艺设计	樊希山	王瑶
第六章	吸收过程工艺设计	匡国柱	
第七章	液-液萃取过程工艺设计	王瑶	
第八章	干燥过程工艺设计	王宝和	
第九章	塔设备的机械设计	张晓冬	

由于编者水平有限,书中不足之处恳请读者提出宝贵意见,在此深表谢意。

编者

2007 年 9 月

目 录

第一章 绪论	1
一、化工过程设计简介	1
二、课程设计的基本要求	3
三、混合物的物性数据估算	3
四、化工流程模拟软件简介	6
五、计算机绘图软件简介	7
第二章 化工设计技术文件编制	8
第一节 化工工艺流程图	8
一、物料流程图（原则流程图）	11
二、带控制点的工艺流程图	14
第二节 设备工艺条件图（设备设计条件单）	21
第三节 设备设计常用标准、技术文件及技术要求	21
一、化工设备设计常用标准和规范	21
二、国外主要规范简介	22
三、化工设备设计技术文件	23
四、化工设备图面技术要求	24
第四节 设备施工图的绘制	30
一、化工设备图的基本内容	30
二、化工设备的结构及视图的表达特点	31
三、化工设备图的简化画法	32
四、化工设备图的绘制	35
参考文献	39
第三章 列管式换热器工艺设计	41
第一节 概述	41
一、换热器分类	41
二、列管式换热器设计简介	41
第二节 无相变列管式换热器工艺设计	43
一、设计方案	43
二、工艺结构设计	45
三、换热器核算	56
四、换热器控制方案	62
五、设计示例	63
第三节 再沸器工艺设计	70
一、再沸器类型及其选用	70
二、立式热虹吸再沸器工艺设计	72
三、釜式再沸器工艺设计	79
四、设计示例	84
第四节 冷凝器工艺设计	93

一、概述	93
二、冷凝器类型及其选择	93
三、冷凝器的工艺设计	97
主要符号说明	97
参考文献	97
第四章 列管式换热器机械设计	99
第一节 列管式换热器零、部件的工艺结构设计	99
一、分程隔板	99
二、折流板或支承板	102
三、拉杆、定距管	105
四、防短路结构	106
五、防冲板	108
六、接管	109
七、管板结构尺寸	112
第二节 列管式换热器机械结构设计	115
一、换热管与管板的连接	115
二、管板与壳体及管箱的连接	119
三、管箱	121
第三节 其他部件设计	125
一、膨胀节	125
二、法兰及垫片	127
三、支座	130
第四节 列管式换热器强度设计	131
一、管板强度计算简介	131
二、壳体、封头强度计算	136
第五节 设计示例	136
一、设计条件	137
二、结构设计	137
三、强度计算	139
参考文献	143
第五章 精馏过程工艺设计	144
第一节 概述	144
一、精馏装置工艺设计的基本内容	144
二、精馏塔设备的选择	145
第二节 设计方案	146
一、分离序列的选择	146
二、操作条件的选择	146
三、控制方案的选择	147
第三节 精馏过程系统的模拟计算	148
第四节 实际塔板数及塔高	151
第五节 浮阀塔塔盘工艺设计	152
一、板式塔工艺设计简介	152
二、塔板液流形式选择	153

30	三、塔径设计	154
32	四、溢流装置的设计	157
36	五、塔盘及其布置	161
38	六、浮阀数及排列	162
39	七、塔板流动性能校核	164
40	第六节 辅助设备的选择	168
40	一、传热设备	168
42	二、容器、管线及泵	169
43	第七节 精馏过程工艺设计示例	170
43	一、设计任务及条件	170
44	二、分离工艺流程	170
45	三、过程系统模拟计算	171
46	四、循环苯精馏塔 (T-101) 工艺设计	175
48	五、辅助设备设计	183
49	六、管路设计及泵的选择	186
50	七、控制方案	187
51	八、设备一览表	187
52	主要符号说明	188
53	参考文献	189
54	第六章 吸收过程工艺设计	190
54	第一节 概述	190
55	第二节 设计方案	190
55	一、吸收剂的选择	190
56	二、吸收流程选择	191
57	三、吸收剂再生方法选择	192
58	四、塔设备选择	192
58	五、操作参数选择	192
59	六、提高能量利用率	194
59	第三节 填料塔的工艺设计	194
59	一、塔填料的选择	195
60	二、塔径的计算	199
61	三、填料塔高度计算	202
61	四、液体初始分布器工艺设计	208
62	五、液体收集及再分布装置	213
63	六、气体分布装置	214
63	七、除沫装置	214
64	八、填料支承及压紧装置	215
64	九、填料塔的流体力学参数计算	216
65	第四节 吸收过程设计示例	219
65	一、设计条件	219
66	二、设计方案	219
67	三、吸收塔的工艺设计	220
68	四、再生塔的设计	224

108	五、工艺流程图	225
120	主要符号说明	225
131	参考文献	226
	第七章 干燥过程工艺设计	227
131	第一节 概述	227
131	第二节 设计方案	228
131	一、干燥装置的一般工艺流程	228
131	二、干燥介质加热器的选择	228
131	三、干燥器的选择	228
131	四、干燥介质输送设备的选择及配置	229
131	五、细粉回收设备的选择	229
131	六、加料器及卸料器的选择	229
131	第三节 喷雾干燥装置的工艺设计	229
131	一、喷雾干燥的基本原理和特点	229
131	二、雾化器的结构和设计	231
131	三、雾化器的选择	240
131	四、雾滴的干燥	242
131	五、喷雾干燥塔直径和高度的计算	245
131	六、主要附属设备	252
131	七、工艺设计步骤	254
131	八、设计示例	254
131	主要符号说明	263
131	参考文献	263
	第八章 塔设备的机械设计	264
131	第一节 概述	264
131	一、塔设备机械设计的基本要求	264
131	二、塔设备机械设计的基本内容	264
131	第二节 板式塔结构设计	264
131	一、塔盘	265
131	二、塔盘的机械计算	277
131	三、塔盘构件的最小厚度	279
131	第三节 填料塔结构设计	279
131	一、液体分布器	280
131	二、液体再分布器	283
131	三、填料支承板	284
131	四、填料压板和床层限制板	287
131	第四节 辅助装置及附件	288
131	一、丝网除沫器	288
131	二、进出料接管	289
131	三、裙座	292
131	第五节 塔的强度和稳定性计算	294
131	一、计算步骤	294
131	二、设计计算公式	294

三、设计计算用图表	301
四、设计示例	303
主要符号说明	316
参考文献	317
附录	318
附录一 典型设备图面技术要求	318
一、钢制焊接压力容器技术要求	318
二、列管式换热器装配图技术要求	319
三、列管式换热器管板技术要求	319
四、折流板、支持板技术要求	320
五、板式塔装配图技术要求	320
六、填料塔装配图技术要求	320
附录二 手弧焊和气保焊常用坡口形式和基本尺寸	321
附录三 埋弧焊常用坡口形式和基本尺寸	322
附录四 管法兰	323
附录五 人孔	329
附录六 椭圆形封头 (摘自 GB/T 25198—2012)	335
附录七 输送流体用无缝钢管常用规格品种 (摘自 GB/T 17395—2008)	339
附录八 列管式换热器基本参数 (摘自 JB/T 4714—92, JB/T 4715—92)	340
一、固定管板式	340
二、浮头式 (内导流)	342
附录九 烃类的 p - T - K 图	343

第一章 绪 论

一、化工过程设计简介

(一) 化学工程项目建设的基本过程

化学工程项目建设过程就是将化学工业范畴内的某一设想, 实现为一个序列化的、能够达到预期目的的、可安全稳定生产的工业生产装置。化学工程项目建设过程大致可以分为四个阶段。第一阶段是项目可行性研究阶段, 这一阶段一般由行政或技术主管部门主持对工程项目进行全面评价, 包括对政治、经济、技术、资源、环境、水文地质、气象等做出综合评价, 论证其可行性。第二阶段是工程设计阶段, 这一阶段是在项目通过可行性论证, 工程主管部门下达设计任务后, 由设计部门负责, 进行工程设计。第三阶段是项目的施工阶段, 主要由施工部门负责进行项目的工程建设。第四阶段是装置开车、考核及验收。

在以上各阶段中, 过程及其装置设计是核心环节, 并贯穿于项目过程的始终, 因此, 先进的设计思想以及科学的设计方法是工程设计人员必须掌握的基本技能。

化工过程及装置设计是一项十分复杂的工作, 涉及诸如政治、经济、技术、法规等方面, 因而是一项政策性很强的工作。同时又涉及多专业、多学科的交叉、综合和相互协调, 是一种集体性的劳动, 强调过程的综合性和系统性, 应用系统工程的观点和方法进行工程的整体设计。

作为化工专业的设计人员, 在化学工程的建设项目中主要承担化工过程及装置设计, 并为其他相关专业提供设计条件和要求。其工作过程可以分为两个阶段, 即初步设计阶段和详细设计阶段。初步设计的主要任务是根据工程项目的具体情况, 做出工程设计的主要技术方案, 供工程主管部门进行项目审查, 并为详细设计提供设计依据。详细设计的主要任务是设计和编制项目施工、生产以及管理所需要的一切技术文件。

(二) 单元过程及设备设计

任何化工过程和装置都是由不同的单元过程设备以一定的序列组合而成, 因而, 各单元过程及设备设计是整个化工过程和装置设计的核心和基础, 并贯穿于设计过程的始终, 从这个意义上说, 作为化工类及其相关专业的本科生乃至研究生能够熟练地掌握常用单元过程及设备的设计过程和方法, 无疑是十分重要的。

1. 单元过程及设备设计的基本原则

工程设计是一项政策性很强的工作, 因而要求工程设计人员必须严格遵守国家有关方针政策 and 法律规定以及有关行业规范, 特别是国家的工业经济法规、环境保护法规和安全法规。此外, 由于设计本身是一个多目标优化问题, 对于同一个问题, 常会有多种解决方案, 设计者常常要在相互矛盾的因素中进行判断和选择, 做出科学合理的决策。为此一般应遵守如下一些基本原则。

(1) 技术的先进性和可靠性 工程设计工作, 既是创造性劳动, 也是特别需要严谨科学工作态度的工作。既然是一种创造性劳动, 就需要设计人员具有较强的创新意识和创新精神, 具有丰富的技术知识和实践经验, 掌握先进的设计工具和手段, 尽量采用当前的先进技术, 提高生产装置的技术水平, 使其具有较强的市场竞争能力。另一方面, 应

该实事求是, 结合实际, 对所采用的新技术, 要进行充分论证, 以保证设计的可靠性、科学性。

(2) 过程的经济性 一般情况下, 设计生产装置总是以较少的投资获取最大的经济利润为目标, 要求其经济技术指标具有竞争力。因此, 在各种方案的分析对比过程中, 其经济技术指标评价往往是最重要的决策因素之一。

(3) 过程的安全性 化工生产的一个基本特点, 就是在生产过程中, 常会使用或产生大量的易燃、易爆或有毒物质。因此, 在设计过程中要充分考虑到各生产环节可能出现的各种危险, 并选择能够采取有效措施以防止发生危险的设计方案, 以确保人员的健康和人身安全。

(4) 清洁生产 一般说来, 作为化工生产过程, 不可避免地要产生废弃物, 这些废弃物, 有可能对环境造成严重污染。国家对各种污染物都制订了严格的排放标准, 如果产生的污染物超过了规定的排放标准, 则必须对其进行处理使其达标后, 方可排放。这样, 必然增加工程的投资和装置生产的操作费用。因而, 作为工程设计者, 应该建立清洁生产的概念, 要尽量采用能够利用废弃物, 减少废弃物排放, 甚至能达到废弃物“零排放”的方案。

(5) 过程的可操作性和可控制性 能够进行稳定可靠地操作, 从而满足正常的生产需要是对化工装置的基本要求, 此外, 还应能够适应生产负荷以及操作参数在一定范围内的波动, 所以系统的可操作性和可控制性是化工装置设计中, 应该考虑的重要问题。

2. 单元设备设计的内容和过程

单元过程及设备设计的内容主要包括单元过程的方案和流程设计、操作参数的选择、单元设备工艺设计或选型、过程设备的机械结构设计、编制设计技术文件。

单元过程和设备设计的基本过程如下。

(1) 过程的方案设计 过程的方案设计就是选择合适的生产方法和确定原则流程。在方案的选择过程中, 应充分体现前述的基本原则, 以系统的观点和方法, 从众多的可用方案中, 筛选出最理想的原则工艺流程。单元过程的方案设计虽然是比较原则的工作, 但却是最重要的基础设计工作, 其将对整个单元过程及设备设计起决定性的影响。该项设计应以系统整体优化的思想, 从过程的全系统出发, 将各个单元过程视为整个过程的子系统, 进行过程合成, 使全系统达到结构优化。在这样的思想指导下, 选择单元过程的实施方案和原则流程。因而, 在一般情况下, 单元过程方案和流程设计, 较强地受整个过程结构优化的约束, 甚至由全过程的结构决定。

(2) 工艺流程设计 工艺流程设计的主要任务是依据单元过程的生产目的, 确定单元设备的组合方式。工艺流程设计应在满足生产要求的前提下, 充分利用过程的能量集成技术, 提高过程的能量利用率, 最大限度地降低过程的能量消耗, 降低生产成本, 提高产品的市场竞争能力。另外, 应结合工艺过程设计出合适的控制方案, 使系统能够安全稳定生产。

(3) 单元过程模拟计算 单元过程模拟计算的主要任务是依据给定的单元过程工艺流程, 进行必要的过程计算, 包括进行过程的物料平衡和热量平衡计算, 确定过程的操作参数和单元设备的操作参数, 为单元设备的工艺设计提供设计依据。进行该项工作, 常涉及单元过程参数的选择, 应对单元过程进行分析使单元过程达到参数优化, 同时也应进行主要单元设备的工艺设计和选型, 在此基础上, 进行单元过程的综合评价, 不断地进行优化, 直至达到优化目标, 实现单元过程的参数优化。

(4) 单元设备的工艺设计 单元设备的工艺设计就是从满足过程工艺要求的需要出发, 通过对单元设备进行工艺计算, 确定单元设备的工艺尺寸, 为进行单元设备的详细设计(施工图设计)或选型提供依据。此项工作也应同过程的模拟计算结合起来, 同样存在参数优化

的问题,需要进行多方案对比才能选择出较为理想的方案。

(5) 绘制单元过程流程图 一般情况下,化工装置的工艺流程图是按单元过程顺序安排的,单元过程的工艺流程图是作为全装置流程的一部分出现在全装置流程图中,因而,绘制单元过程工艺流程图是绘制全装置流程图的基础。

(6) 工艺设计的技术文件 单元过程的工艺设计技术文件主要包括单元过程流程图,工艺流程说明,工艺设计计算说明书,单元设备的工艺计算说明书及单元设备的工艺条件图。

(7) 详细设计 按照工艺设计的要求,进行工程建设所需的全部施工图设计,编制出所有的技术文件。单元过程设备的机械结构设计的工作内容主要集中在工程设计的详细设计阶段,其设计任务是在单元设备的工艺设计完成之后,依据设备的工艺要求,进行设备的施工图设计。

二、课程设计的基本要求

课程设计是学习化工设计基础知识,培养学生化工设计能力的重要教学环节,通过这一实践教学环节的训练,使学生掌握化工单元过程及设备设计的基本程序和方法,熟悉查阅和正确使用技术资料,能够在独立分析和解决实际问题的能力方面有较大提高,增强工程观念和实践能力。为此,学生应在进行本课程设计的实践过程中,以实事求是的科学态度,严谨、认真的工作作风完成以下内容。

(1) 设计方案简介 根据任务书提供的条件和要求,进行生产实际调研或查阅有关技术资料,在此基础上,通过分析研究,选定适宜的流程方案和设备类型,确定原则的工艺流程。同时,对选定的流程方案和设备类型进行简要的论述。

(2) 主要设备的工艺设计计算 依据有关资料进行工艺设计计算,即进行物料衡算、热量衡算、工艺参数的优化及选择、设备的结构尺寸设计和工艺尺寸的设计计算。

(3) 主要设备的结构与机械设计 按照详细设计的要求,进行主要设备的结构设计及设备强度计算。

(4) 典型辅助设备的选型 对典型辅助设备的主要工艺尺寸进行计算,并选定设备的规格型号。

(5) 带控制点的工艺流程图 将设计的工艺流程方案用带控制点的工艺流程图表示出来,绘出流程所需全部设备,标出物流方向及主要控制点。

(6) 主要设备的工艺条件图 绘制主要设备的工艺条件图,图面包括设备的主要工艺尺寸、技术特性表和接管表。

(7) 主要设备的总装配图 按照国标或行业标准,绘制主要设备的总装配图,按现在形势的发展和实际工作的要求,应该采用CAD技术绘制图纸。

(8) 编写设计说明书 作为整个设计工作的书面总结,在以上设计工作完成后,应以简练、准确的文字,整洁、清晰的图纸及表格编写出设计说明书。说明书的内容应包括:封面、目录、设计任务书、概述与设计任务简介、设计条件及主要物性参数表、工艺设计计算、机械设计计算、辅助设备的计算及选型、设计结果一览表、设计评述、工艺流程图、设备工艺条件图与总装配图、参考资料和主要符号说明。

三、混合物的物性数据估算

化工设计计算中物性数据的来源主要有三个途径:一是实验测定,二是从有关手册和文献专著中查取,三是利用经验公式估算。对于纯组分的物性数据,可相对容易地从相关手册和文献专著中获得。但对混合物的物性数据,若无实测值,查取困难,更多的是采用经验的

方法进行估算。

1. 混合物的密度

对于液体混合物，若各组分在混合前后其体积不变，则混合物的平均密度为

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{w_A}{\rho_A} + \frac{w_B}{\rho_B} + \dots + \frac{w_n}{\rho_n} \quad (1-1)$$

式中， ρ_m 为液体混合物的平均密度， kg/m^3 ； w_A 、 w_B 、 \dots 、 w_n 为混合物中各组分的质量分数； ρ_A 、 ρ_B 、 \dots 、 ρ_n 为混合物中各纯组分的密度， kg/m^3 。

式(1-1) 适合理想溶液的平均密度计算。

对于气体混合物，若各组分在混合前后其压强与温度不变，则混合物的平均密度为

$$\rho_m = \rho_A x_A + \rho_B x_B + \dots + \rho_n x_n \quad (1-2)$$

式中， ρ_m 为气体混合物的平均密度， kg/m^3 ； x_A 、 x_B 、 \dots 、 x_n 为气体混合物中各组分的摩尔分数； ρ_A 、 ρ_B 、 \dots 、 ρ_n 为混合物中各纯组分的密度， kg/m^3 。

当气体的压强不太高，温度不太低时，混合气体的密度也可按理想气体状态方程计算，即

$$\rho_m = \frac{p M_m}{RT} \quad (1-3)$$

$$M_m = M_A x_A + M_B x_B + \dots + M_n x_n$$

式中， p 为气体的绝对压强， kPa ； T 为气体的热力学温度， K ； R 为摩尔气体常数，其值为 $8.315\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ； M_m 为气体混合物的平均摩尔质量； M_A 、 M_B 、 \dots 、 M_n 分别为气体混合物中各组分的摩尔质量； x_A 、 x_B 、 \dots 、 x_n 分别为气体混合物中各组分的摩尔分数。

对于高压低温时的实际气体密度，需采用气体压缩系数予以修正，其密度计算公式为

$$\rho = \rho^\ominus \frac{p}{p^\ominus} \times \frac{T^\ominus}{T} \times \frac{Z^\ominus}{Z} \quad (1-4)$$

式中， ρ 为工作状态下干气体的密度， kg/m^3 ； ρ^\ominus 为标准状态下 (293.15K , 101.32kPa)，干气体的密度， kg/m^3 ； p 为工作状态下气体的绝对压力， kPa ； p^\ominus 为标准状态下气体的绝对压力， 101.32kPa ； T 为工作状态下气体的热力学温度， K ； T^\ominus 为标准状态下气体的热力学温度， 293.15K ； Z 为工作状态下气体的压缩系数； Z^\ominus 为标准状态下气体的压缩系数。

2. 混合物的黏度

对于分子不缔合的混合液，可用下式计算其黏度

$$\lg \eta_m = \sum x_i \lg \eta_i \quad (1-5)$$

式中， η_m 为混合液的黏度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ； x_i 为液体混合物中第 i 种组分的摩尔分数； η_i 为与液体混合物同温度下第 i 种组分的黏度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。

对于非电解质、非缔合型液体，且两组分的分子量之差和黏度之差不大 ($\Delta\eta < 15\text{mPa} \cdot \text{s}$) 的液体，还可按式(1-6) 计算。

$$\frac{1}{\eta_m^{\frac{1}{3}}} = \sum (x_i \eta_i^{\frac{1}{3}}) \quad (1-6)$$

式中各符号的意义同上。

对于常压下气体混合物的黏度，可用式(1-7) 计算

$$\eta_m = \frac{\sum y_i \eta_i M_i^{\frac{1}{2}}}{\sum y_i M_i^{\frac{1}{2}}} \quad (1-7)$$

式中， η_m 为混合气的黏度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ； y_i 为气体混合物中第 i 种组分的摩尔分数； η_i 为与气体混合物同温度下第 i 种组分的黏度， $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ； M_i 为气体混合物中第 i 种组分的摩尔质